

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-356741

(43)Date of publication of application : 26.12.2000

(51)Int.Cl.

G02B 13/24  
G02B 13/18  
G03F 7/20  
H01L 21/027

(21)Application number : 11-167423

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 14.06.1999

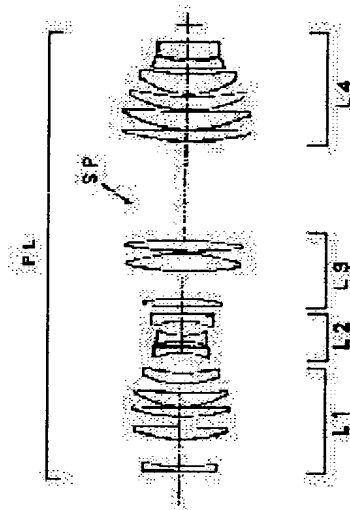
(72)Inventor : KATO TAKASHI  
TERASAWA CHIAKI  
ISHII HIROYUKI

## (54) PROJECTION OPTICAL SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an optical system which facilitates processing and regulating of aspherical lenses while assuring high resolution power and wide exposure regions with a smaller number of elements of component lenses by having a plurality of aspherical lens, of which one-side surfaces are aspherical and the other-side surfaces are plane.

**SOLUTION:** The projection optical system for projecting the image of a first object onto a second object has a plurality of the aspherical lenses, of which the one-side surfaces are the aspherical and the other-side surfaces are plane. The projection optical system comprises, successively from the object side, a first lens group L1 having positive refracting power, a second lens group L2 having negative refracting power and third lens group L3 and fourth lens group L4 having positive refracting power. For example, the first lens group L1 is constituted by arranging, successively from the object side, an aspherical negative lens of a planoconcave shape of which the concave face is directed to an image side, a positive lens of a biconvex shape, an aspherical position lens of a planoconvex shape of which the convex face is directed to the object side and two positive lenses of a meniscus shape of which the convex faces are directed to the object side.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.04.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-356741

(P2000-356741A)

(43) 公開日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

キーワード (参考)

G 0 2 B 13/24

G 0 2 B 13/24

2 H 0 8 7

13/18

13/18

5 F 0 4 6

G 0 3 F 7/20

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願平11-167423

(22) 出願日

平成11年6月14日 (1999. 6. 14)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 加藤 隆志

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72) 発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74) 代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系

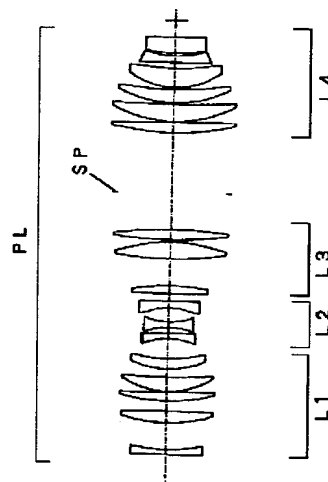
(57) 【要約】

【課題】構成レンズ枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保しつつ、非球面レンズの加工、調整も容易で半導体デバイスの製造に好適な投影光学系及びそれを用いた投影露光装置を得ること。

【解決手段】第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は一方の面が非球面で、他方の面が平面の非球面レンズを有し、該非球面の非球面量を $\Delta A S P H$ 、物像間距離を $L$ としたとき

$$|\Delta A S P H / L| > 10^{-6}$$

を満足すること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は少なくとも1つの非球面レンズを有し、該非球面レンズの全ては、一方の面が非球面で、他方の面が平面であることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は一方の面が非球面で、他方の面が平面の非球面レンズを有し、該投影光学系の物像間距離をL、該非球面の非球面量を $\Delta ASP$

$$|L \times \phi_0| > 17 \quad (\phi_0 = \sum \phi_{0i} \quad \phi_{0i} \text{は第} i \text{負群のパワー})$$

を満足することを特徴とする請求項1、2又は3の投影光学系。

【請求項5】 前記非球面は軸上マージナル光線の高さをh、最軸外主光線の高さを $h_b$ としたとき、物体面から順に

$$|h_b/h| > 0.35$$

を満足する面に設けられていることを特徴とする請求項1、2、3又は4の投影光学系。

【請求項6】 前記非球面は、投影光学系の最大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき

$$h_{ea}/h_{max} > 0.70$$

を満足する面に設けられていることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5の投影光学系。

【請求項7】  $|\Delta ASPH/L| < 0.02$

を満足することを特徴とする請求項2から6のいずれか1項の投影光学系。

【請求項8】  $|L \times \phi_0| < 70$

を満足することを特徴とする請求項3から7のいずれか1項の投影光学系。

【請求項9】  $|h_b/h| < 15$

を満足することを特徴とする請求項4から8のいずれか1項の投影光学系。

【請求項10】 前記非球面は投影光学系の最大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき $h_{ea}/h_{max} \leq 1.0$

を満足する面に設けられていることを特徴とする請求項1から9のいずれか1項の投影光学系。

【請求項11】 請求項1から10のいずれか1項記載の投影光学系を用いてレチクル面のパターンを感光基板にステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式で投影していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項12】 請求項1から10のいずれか1項の投影光学系を用いてレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

Hとしたとき

$$|\Delta ASPH/L| > 1 \times 10^{-6}$$

を満足することを特徴とする投影光学系。

【請求項3】 前記投影光学系が有する非球面レンズは全て一方の面が非球面で他方の面が平面であることを特徴とする請求項2の投影光学系。

【請求項4】 前記投影光学系は正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群から成る複数のレンズ群を有し、該投影光学系の物像間距離をL、各負レンズ群のパワーの総和を $\phi_0$ としたとき

$$|L \times \phi_0| > 17 \quad (\phi_0 = \sum \phi_{0i} \quad \phi_{0i} \text{は第} i \text{負群のパワー})$$

【発明の属する技術分野】本発明は投影光学系及びそれを用いた投影露光装置に関し、特にIC、LSI、磁気ヘッド、液晶パネル、CCD等の微細構造を有するデバイスを製造する際に好適なものであり、具体的にはデバイスの製造装置であるステップアンドリピート方式やステップアンドスキャン方式の、所謂ステッパーにおいて、レチクル面上のパターンを感光基板上に高い解像力で投影露光するのに好適なものである。

【0002】

【従来の技術】最近の半導体素子等のデバイスの製造技術の進展は目覚ましく、又それに伴う微細加工技術の進展も著しい。

【0003】特に光加工技術はサブミクロンの解像力を有する縮小投影露光装置、通称ステッパーが主流であり、さらなる解像力向上に向けて投影光学系の開口数(NA)の拡大や、露光波長の短波長化が計られている。

【0004】従来より投影露光装置を用い、IC、LSI等の半導体素子のパターンをシリコン等のウエハに焼き付けるための投影光学系には非常に高い解像力が要求される。

【0005】一般に投影光学系による投影像の解像力を使用する波長が短くなる程良くなるために、できる限りの短波長を放射する光源が用いられている。

【0006】例えば短波長の光を放射する光源としては、エキシマレーザーが注目されている。このエキシマレーザーはレーザー媒体として、ArF、KrF等が使用されている。

【0007】ところでこの光源の波長域においてはレンズ材料として、使用可能な硝材が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものであり、この石英や蛍石に於いても従来のようにレンズの構成枚数が多く全硝材厚が厚い光学系ではレンズの熱吸収による焦点位置等の変動などの問題が生じることになる。

【0008】そこで、光学系の構成レンズ枚数を大幅に少なくし、レンズ系の硝材全肉厚が非常に少ない縮小型の投影光学系が提案されている。

【0009】具体的には、明るく高解像な投影像を得る為の投影光学系が特公平7-48089号公報、特開平

7-128592号公報等で提案されている。又、物体側、像側両テレセントリック系にて構成した投影光学系が、特開平5-34593号公報、特開平10-197791号公報等で提案されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】特公平7-48089号公報、特開平7-128592号公報等における投影光学系及び特開平5-34593号公報、特開平10-197791号公報等に提案されている投影光学系において使われている非球面レンズはその一方のレンズ面が非球面であり、又その反対側（裏面）の面は球面にて構成されている。

【0011】一般に非球面加工面の裏面が球面である、非球面レンズは作製が難しいため、作製に時間を要するとともに、非球面と球面の光軸を合わせることが難しく、結果として、組み上げた後の投影光学系全体の結像性能を悪化させてしまうことがあった。

【0012】本発明は、構成レンズ枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保しつつ、非球面レンズの加工、調整も容易な投影光学系及びそれを用いた投影露光装置の提供を目的とする。

【0013】

$$|L \times \phi_o| > 17 \quad (\phi_o = \sum \phi_{oi} \quad \phi_{oi} \text{は第} i \text{負群のパワー})$$

..... (2)

を満足することを特徴としている。

【0017】請求項5の発明は請求項1, 2, 3又は4の発明において、前記非球面は軸上マージナル光線の高さを $h$ 、最軸外主光線の高さを $h_b$ としたとき、物体面から順に

$$|h_b/h| > 0.35 \quad \text{..... (3)}$$

を満足する面に設けられていることを特徴としている。

$$|\Delta ASPH/L| < 1.0 \times 0.02 \quad \text{..... (1a)}$$

を満足することを特徴としている。

【0020】請求項8の発明は請求項3から7のいずれか1項の発明において、

$$|L \times \phi_o| < 70 \quad \text{..... (2a)}$$

を満足することを特徴としている。

【0021】請求項9の発明は請求項4から8のいずれか1項の発明において、

$$|h_b/h| < 15 \quad \text{..... (3a)}$$

を満足することを特徴としている。

【0022】請求項10の発明は請求項1から9のいずれか1項の発明において、前記非球面は投影光学系の最大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき $h_{ea}/h_{max} \leq 1.0$

を満足する面に設けられていることを特徴としている。

【0023】請求項11の投影露光装置は請求項1から10のいずれか1項記載の投影光学系を用いてレチクル面のパターンを感光基板にステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式で投影していることを

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の投影光学系は、第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は少なくとも1つの非球面レンズを有し、該非球面レンズの全ては、一方の面が非球面で、他方の面が平面であることを特徴としている。

【0014】請求項2の発明の投影光学系は、第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は一方の面が非球面で、他方の面が平面の非球面レンズを有し、該投影光学系の物像間距離を $L$ 、該非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ としたとき

$$|\Delta ASPH/L| > 1 \times 10^{-6} \quad \text{..... (1)}$$

を満足することを特徴としている。

【0015】請求項3の発明は請求項2の発明において、前記投影光学系が有する非球面レンズは全て一方の面が非球面で他方の面が平面であることを特徴としている。

【0016】請求項4の発明は請求項1, 2又は3の発明において、前記投影光学系は正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群から成る複数のレンズ群を有し、該投影光学系の物像間距離を $L$ 、各負レンズ群のパワーの総和を $\phi_o$ としたとき

【0018】請求項6の発明は請求項1, 2, 3, 4又は5の発明において、前記非球面は、投影光学系の最大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき $h_{ea}/h_{max} > 0.70$ ..... (4)

を満足する面に設けられていることを特徴としている。

【0019】請求項7の発明は請求項2から6のいずれか1項の発明において、

特徴としている。

【0024】請求項12の発明のデバイスの製造方法は、請求項1から10のいずれか1項の投影光学系を用いてレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】図1は本発明の投影光学系の数値実施例1のレンズ断面図、図2は本発明の投影光学系の数値実施例1の諸収差図である。

【0026】図3は本発明の投影光学系の数値実施例2のレンズ断面図、図4は本発明の投影光学系の数値実施例2の諸収差図である。

【0027】図5は本発明の投影光学系の数値実施例3のレンズ断面図、図6は本発明の投影光学系の数値実施例3の諸収差図である。

【0028】図7は本発明の投影光学系の数値実施例4のレンズ断面図、図8は本発明の投影光学系の数値実施

例4の諸収差図である。

【0029】図9は本発明の投影光学系の数値実施例5のレンズ断面図、図10は本発明の投影光学系の数値実施例5の諸収差図である。

【0030】図11は本発明の投影光学系の数値実施例6のレンズ断面図、図12は本発明の投影光学系の数値実施例6の諸収差図である。

【0031】図13は本発明の投影光学系の数値実施例7のレンズ断面図、図14は本発明の投影光学系の数値実施例7の諸収差図である。

【0032】レンズ断面図において、PLは投影光学系である。Liは物体側（距離の長い共役側）から数えた第iレンズ群（第i群）である。

【0033】IPは像面であり、投影露光装置に用いたときはウエハ面に相当している。SPは絞りである。

【0034】いずれの数値実施例も、物体側（レチクル側）及び像面側（ウエハ側）においてほぼテレセントリックになっている。又、投影倍率は1/4倍であり、像側の開口数は $NA=0.65$ 、物像間距離 物体面～像面は $L=1000\text{mm}$ である。又、基準波長は $193\text{nm}$ 、画面範囲はウエハ上での露光領域の直径は、 $\phi 27.3\text{mm}$ である。

【0035】更に、数値実施例1～7は少なくとも1枚以上の非球面を有し、かつそのうち少なくとも1枚は、一方の面が非球面加工され、その他方の面が平面である非球面レンズである。

【0036】リソグラフィ等に用いられる大口径レンズに対応した非球面レンズ加工方法としては、その一例として、例えば文献「Robert A. Jones; "Computer-controlled polishing of telescope mirror segments," OPTICAL ENGINEERING, Mar/Apr Vol.22, No.2, 1983」等に機械加工による加工方法が報告されている。即ち、三次元コンピュータ制御された研削機で非球面形状を形成した後、コンピュータ制御された研磨機（CCP）で研磨する方法で、形状精度として $0.025\lambda\text{rms}$ （ $\lambda=633\text{nm}$ ）が得られている。

【0037】ここで、図15は、非球面の機械加工による加工方法を示す模式図である。図中、501は基板、502は基板回転機構、503はステージ、504は球面パッド、505は球面パッド回転機構、506は荷重制御機構、507は研磨液供給ノズル、508は研磨液である。移動可能なステージ503に回転自在に取り付けられた基板501は基板回転機構502によって回転する。

【0038】回転する基板501の表面には、荷重制御機構506によって接触圧力が制御され、球面パッド回転機構505によって回転する球面パッド504が接触し、研磨液供給ノズル507より接触面に供給された研磨液508によって接触面を研磨する。

【0039】ステージ503の位置や荷重制御機構50

6によって加えられる球面パッド504の接触圧力はコンピュータ（不図示）によって制御される。このような加工方法を用いることにより、非球面レンズが作製可能となる。尚、非球面の加工方法については、上記の方法以外で行なっても構わない。

【0040】非球面加工面の裏面が平面である場合の利点は、その裏面が球面である場合に比べ、作製時に特別な治具を必要とせず、また加工時の精度も高い点にある。更に、非球面素子としてのレンズ単体の加工時間も短くて済み、作製しやすい。又レンズ系に組み込む場合、その軸出しや調整を容易に行なうことができる、等々である。

【0041】従って、光学系中に少なくとも1枚以上、非球面加工面の裏面が平面である非球面素子を使用することは、加工面、コスト及びレンズ系全体の組立時の調整等の面でも非常に有利である。

【0042】又、投影光学系の非球面素子全てをこのような加工面の裏面が平面である非球面素子で構成することも可能である。

【0043】なお非球面の導入をより効果的に結像性能に発揮させるには、非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ 、投影光学系の物像間距離をLとしたときに、

$$|\Delta ASPH/L| > 1 \times 10^{-6} \dots\dots (1)$$

の式を満足させるとなお良い。

【0044】条件（1）式は非球面量に関して規定するもので、この下限を越えると、良好な結像性能を得るために非球面を用いたとしても非球面の効果が十分に発揮されなくなる。例えば物像間距離を $1000\text{mm}$ 、使用波長を $193\text{nm}$ とすると条件式（1）から $\Delta ASPH=0.001\text{mm}$ となりニュートンリング約10本分に相当する。

【0045】これは投影露光系に用いる非球面としては十分に大きな値である。さらに、より効果的に非球面を使用するには、前述の条件式（1）は

$$|\Delta ASPH/L| > 1 \times 10^{-5} \dots\dots (1b)$$

として、非球面量を大きくするとよい。

【0046】又、次の条件式のうち少なくとも1つを満足させるのが良い。

【0047】（イー1）前記投影光学系は正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群から成る複数のレンズ群を有し、該投影光学系の物像間距離をL、各負レンズ群のパワーの総和を $\phi_o$ としたとき

$$|L \times \phi_o| > 17 \dots\dots (2)$$

を満足すること。

【0048】（イー2）前記非球面は軸上マージナル光線の高さをh、最軸外主光線の高さを $h_o$ としたとき、物体面から順に

$$|h_o/h| > 0.35 \dots\dots (3)$$

を満足する面に設けられていること。

【0049】（イー3）前記非球面は、投影光学系の最

大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき  
 $h_{ea}/h_{max} > 0.70$  …… (4)

(イ-4)

$$|\Delta ASPH/L| < 1.0 \times 0.02 \quad \dots\dots (1a)$$

を満足することを特徴としている。

【0051】(イ-5)

$$|L \times \phi_o| < 70 \quad \dots\dots (2a)$$

を満足すること。

【0052】(イ-6)

$$|h_b/h| < 15 \quad \dots\dots (3a)$$

を満足すること。

【0053】(イ-7) 前記非球面は投影光学系の最大有効径を $h_{max}$ 、各面の有効径を $h_{ea}$ としたとき  
 $h_{ea}/h_{max} \leq 1.0$  …… (4a)

を満足する面に設けられていること。

【0054】本発明の投影光学系は光学系全体のパワー分担を適切に設定する為に条件(2)式のように、レンズ系の物像間距離 $L$ と各負レンズ群(凹レンズ群)のパワーの総和 $\phi_o$ の積を規定している。

【0055】一般的に物像間距離 $L$ が長くなると各凹レンズ群のパワーの総和 $\phi_o$ も小さくなり、逆に物像間距離 $L$ が短くなると各凹レンズ群のパワーの総和 $\phi_o$ は大きくなる。

【0056】本発明においてはそれらの積が17以上とすることにより、凹レンズ群のパワーを大きく設定し、主に像面湾曲、非点収差を良好に補正する手段としている。

【0057】条件(2)式の下限を越えると、ベッツボール和が正の方向へ大きくなるため、像面湾曲、非点収差を良好に補正することが困難になってくる。

【0058】条件(3)式は、非球面を導入するに際し、適切な面を規定している。従来から縮小投影光学系においては、テレセントリック性を保ちつつも、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、加えて、メリディオナルとサジタルの横収差を各々良好に補正するのは非常に困難であった。

【0059】というのは、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲、非点収差はどれも光束中心を通る主光線に関する収差量であり、それらの収差等はレンズ系全体を通して主光線高が高い物体側のレンズ配置、レンズ形状に依存しているが、物体上のすべての物点からの主光線に対しテレセントリック性を維持しつつも、歪曲収差、像面湾曲、非点収差を補正するように同じ主光線を屈折させるというのが、相当な困難を伴っていたことによる。

【0060】またレンズ面上でメリディオナルの下側光線は、主光線よりもさらに高い位置で屈折されているため、メリディオナルの横収差とそれら主光線に関する収差とのバランスが難しい。同時に通常は像高が高くなるにつれてアンダー傾向の像面湾曲を補正しようとする

を満足する面に設けられていること。

【0050】

と、凹レンズで強く屈折させることになるが、そうすると今度は高い像高のサジタルの横収差の周辺部(サジタルハロ)がさらにオーバーに変化してしまい、良好にバランスさせることが難しくなってしまう。

【0061】このような状況で高NA化、広い露光領域の確保は、物体側光束と像高のさらなる拡大を意味し、収差補正の困難さが増幅されてしまう。

【0062】そこで本発明においては、条件(3)式を満足するように軸外主光線に影響の大きな面を非球面とすることにより、上記の改善されるべき収差を重点的に効果的に補正することにより、他の収差補正の負担を軽減し、良好な光学性能を実現している。

【0063】この条件(3)式の下限を越えると軸外主光線よりも軸上マージナル光線への影響が増大してくるため、上記の改善されるべき収差の補正効果が低減してしまい、高NA化、広い露光領域の確保が難しくなってしまう。

【0064】条件(4)式は加工面の裏面が平面である非球面を導入するのに有効な面を規定している。有効径の大きいレンズに非球面を導入する場合、その加工が、より困難であるとともに軸出しや調整も容易ではない。従って(4)式を満足するように光学系の最大有効径との比が大きい面に、加工面の裏面が平面である非球面を導入することにより非球面レンズの加工、調整等をより容易にすることができる。この条件(4)式の加減を越えると、加工面の裏面が平面である非球面が導入された面の有効径は最大有効径に対してかなり小さくなるため、上述した効果は低減してしまう。

【0065】尚、前述の条件式(1a)～(4a)を満足しないと、前述の条件式(1)～(4)と同様に良好なる収差補正が難しくなってくる。

【0066】条件式(1a)の上限を越えると、負屈折力を有する負レンズ群のパワーが大きくなりすぎる為ベッツボール和が補正過剰となり主に像面湾曲、非点収差を良好に補正することが困難になる。

【0067】また、正屈折力を有する正レンズ群のレンズ径が大きくなったり、レンズ枚数が増加してしまう。

【0068】条件式(2a)の上限を越えると、物体面に対してレンズが近づきすぎて作動距離が確保できなくなる。また、投影光学系の倍率が極端に小さい場合には、上記条件式を超えても作動距離は確保できる場合があるが、このように倍率が極端に小さくなる光学系はリソグラフィ用としては実用的ではない。

【0069】条件式(3a)の上限を越えると、非球面量が大きくなりすぎる為レンズの加工時間が増大してしまう。また、非球面にて発生する高次収差が大きくなり

収差補正を良好に行なうことが難しくなってしまう場合がある。

【0070】次に本発明の投影光学系の各数値実施例の特徴について説明する。図1の数値実施例1は、物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群L1、負の屈折力を有する第2レンズ群L2、正の屈折力を有する第3レンズ群L3、正の屈折力を有する第4レンズ群L4により構成されている。

【0071】第1レンズ群L1は物体側より順に、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の2枚の正レンズを配置している。最も物体側に負レンズを配置し、その後4枚の正レンズを配置することで、レトロフォーカスタイプとしている。

【0072】そしてこのような配置を取ることで、物体面と第1レンズ群L1の第1面との間隔を効果的に縮めることが可能となり、光学系をコンパクトに構成することができるとともに、非点収差、像面湾曲の劣化を補正している。

【0073】又、第1レンズ群L1中の負レンズを配置することで、第4レンズ群L4との対称性を良くし、歪曲収差を良好に補正している。又、主に歪曲収差及び非点収差をより良好に補正するために非球面を用いている。

【0074】第2レンズ群L2は、物体側より順に物体側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズ、物体側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、の3枚の負レンズにより構成している。

【0075】本実施例のように複数枚の負レンズを配置することでベッツバル和を良好に補正するとともに、非球面レンズを配置することで、強い負のパワーを有する第2レンズ群L2において主に非点収差や球面収差を補正している。

【0076】第3レンズ群L3は、第2レンズ群L2からの発散光束を収束光或いは平行光束に近い状況にするために正の屈折力を有する。物体側から順に両凸形状の正レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、により構成している。

【0077】この第3レンズ群L3の強い正の屈折力により、第4レンズ群L4への光線の入射高を抑えることで、第4レンズ群L4における高次収差の発生を抑えている。又、第2レンズ群L2の屈折力をも強くすることができ、第2レンズ群L2による像面湾曲の補正を良好に行なうことができる。更に、この第3レンズ群L3の強い屈折力により、強い負の球面収差が発生する。これを補正するために非球面を導入している。

【0078】第4レンズ群L4は、像側においてテレセントリック光学系を構成するために、正の屈折力を有している。そして、物体側より順に、物体側に凸面を向

けた平凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、及び、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、により構成している。

【0079】特に、NAが0.65である光束に対して、球面収差やコマ収差を十分に補正できるように非球面レンズを配置している。又、像面付近に非球面を配置することで、歪曲収差やコマ収差を良好に補正している。

【0080】尚、本実施例では、非球面レンズの非球面加工面の裏面が平面であるレンズを7枚使用し、非球面加工面の裏面が球面であるレンズを2枚使用している。

【0081】図3に示す数値実施例2の具体的なレンズ構成は、図1の数値実施例1に比べて、全ての非球面レンズの非球面加工面の裏面が平面であること、及び、第1レンズ群L1の構成が物体側より順に、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズを配置している点で異なる。

【0082】又、第2レンズ群L2は、物体側より順に、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズ、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、の4枚の負レンズにより構成している。

【0083】第2レンズ群L2の焦点距離がより短くなるように構成されていて良好にベッツバル和の補正を行なっている。又、第3レンズ群L3は、物体側から順に像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズにより構成している。

【0084】更に、第4レンズ群L4は、物体側より順に、物体側に凸面を向けた平凸形状の2枚の非球面正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の2枚の正レンズ、像側に凹面を向けた負レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、により構成している。

【0085】図5に示す数値実施例3は物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群L1、負の屈折力を有する第2レンズ群L2、正の屈折力を有する第3レンズ群L3、負の屈折力を有する第4レンズ群L4、正の屈折力を有する第5レンズ群L5、正の屈折力を有する第6レンズ群L6により構成されている。

【0086】この数値実施例3のレンズ構成は、強い負レンズ群を光学系中に2つ有している点で数値実施例1、2とは異なる。

【0087】第1レンズ群L1は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、により構成されてい



る。非球面を用いることで、主にテレセン性を確保しつつ歪曲収差等を良好に補正している。

【0088】第2レンズ群L2は、物体側より順に、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズにより構成している。

【0089】この第2レンズ群L2と第4レンズ群L4は主にベッツバル和を補正している。

【0090】第3レンズ群L3は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、及び2枚の両凸形状の正レンズにより構成している。第4レンズ群L4は、物体側より順に、像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズ、より構成している。この非球面により主にサジタルコマフレア等を良好に補正している。第5レンズ群L5は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、により構成している。

【0091】このレンズ群で発生する強い負の球面収差を非球面にて主に補正している。第6レンズ群L6は、物体側より順に、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状のレンズ、及び像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面レンズ、より構成している。最後の面の非球面は主にコマ収差と歪曲収差とのバランスを良好に補正している。

【0092】尚、本実施例では、非球面レンズの非球面加工面の裏面が平面であるレンズを6枚使用し、非球面加工面の裏面が球面であるレンズを1枚使用している。

【0093】図7に示す数値実施例4は物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群L1、負の屈折力を有する第2レンズ群L2、正の屈折力を有する第3レンズ群L3、負の屈折力を有する第4レンズ群L4、正の屈折力を有する第5レンズ群L5より構成している。

【0094】この数値実施例4は、数値実施例3と同様に、光学系中に強い負レンズを2つ有している点で、数値実施例1、2とは異なる。そして、数値実施例3と比較して、第1レンズ群L1の焦点距離が長く、かつ第3レンズ群L3の横倍率がより等倍（-1倍）に近いPower配置を有している点、等において異なる。

【0095】具体的に第1レンズ群L1は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、よりなる。又、第2レンズ群L2は、物体側より順に、像面に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、像面に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズ、よりなる。又、第3レンズ群L3は、物体側より順に像側に凸面を向けた平凸形状の正レンズ、3枚の両凸形状の正レンズ、より構成している。

【0096】第4レンズ群L4は、両凹形状の負レンズ、両凹形状の非球面負レンズ、よりなる。更に、第5

レンズ群L5は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、像側に凹面を向けた2枚のメニスカス形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、より構成している。

【0097】尚、本実施例では、非球面レンズの非球面加工面の裏面が平面であるレンズを5枚使用し、非球面加工面の裏面が球面であるレンズを2枚使用している。

【0098】図9に示す数値実施例5は図5の数値実施例3に比べて非球面レンズが、全て非球面加工面の裏面が平面より成っている点が異なっているだけである。

又、群構成については数値実施例3と同様に6群構成であるが、具体的なレンズ構成が異なる。

【0099】特に第2レンズ群L2は、物体側より順に像側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、両凹形状の負レンズ、よりなる。又、第3レンズ群L3は、物体側より順に像側に凸面を向けた平凸形状の非球面レンズ、両凸形状の2枚の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス正レンズよりなる。

【0100】又、第6レンズ群L6は物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス凸レンズ、より構成している。

【0101】図11に示す数値実施例6は物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群L1、負の屈折力を有する第2レンズ群L2、正の屈折力を有する第3レンズ群L3、負の屈折力を有する第4レンズ群L4、正の屈折力を有する第5レンズ群L5、負の屈折力を有する第6レンズ群L6、正の屈折力を有する第7レンズ群L7、により構成している。

【0102】この数値実施例6のレンズ構成は、強い負レンズ群を光学系中に3つ有している点で、数値実施例1～5とは異なる。このような配置により、負の屈折力を有する群の屈折力を分散させることによって、ベッツバル和を良好に補正している。

【0103】第1レンズ群L1は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズよりなる。又第2レンズ群は物体側より順に両凹形状の負レンズ、凹面を像側に向けた平凹形状の非球面負レンズ、よりなる。又、第3レンズ群L3は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、よりなる。

【0104】更に第4レンズ群L4は、物体側より順に、両凹形状の負レンズ、物体側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、よりなる。第5レンズ群L5は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の2枚の正レンズ、よりなる。第6レンズ群L6は、物体側より順に、両凹形状の負レンズ、物体側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、

よりなる。

【0105】更には、第7レンズ群L7は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の正レンズ、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凹形状の負レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、より構成している。

【0106】尚、本実施例では、全ての非球面レンズの非球面加工面の裏面を平面としている。

【0107】図13に示す数値実施例7は数値実施例6と同様にレンズ群の構成が同じ7群であるが、具体的なレンズの構成が異なる。第2レンズ群L2は、物体側より順に像側に凹面を向けた平凹形状の2枚の非球面負レンズによりなる。

【0108】又、第4レンズ群L4は、物体側より順に、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凹形状の負レンズ、物体側に凹面を向けた平凹形状の非球面負レンズ、よりなる。又、第5レンズ群L5は、物体側より順に、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、よりなる。

【0109】第6レンズ群L6は、両凹形状の2枚の負レンズよりなる。更には、第7レンズ群L7は、物体側より順に、像側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の2枚の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、物体側に凸面を向けた平凸形状の非球面正レンズ、より構成している。

【0110】尚、数値実施例6、7において用いられている非球面レンズの非球面加工面の裏面は全て平面にて構成されているが、全てが平面でなくても構わない。

$$X = \frac{H^2/r_i}{1 + \left(1 - (1+k) \cdot \left(\frac{H}{r_i}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

【0119】にて与えられるものとする。ここに、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、 $r_i$ は曲率半径、 $k$ は円錐定数、 $A, \dots, G$ は非球面係数である。

【0111】又、以上の数値実施例において、非球面形状に関する円錐定数 $k$ をゼロとしたが、円錐定数を変数にとって設計しても構わない。

【0112】更に、今回の実施例は、硝材としてすべて石英レンズを用いたが、蛍石を用いても構わない。即ち、蛍石と石英を両方とも用いることで、色収差を小さく補正することが可能になる。又、蛍石だけで構成しても構わない。又は硝材に限定されない。

【0113】更に、今回は露光光源として193nmのArF波長を用いたが、KrF波長或いは、F2レーザ波長等の別の波長でも構わない。

【0114】又、以上のように色々な光学系のタイプを実施例として示したが、非球面の加工面の裏面が平面である非球面レンズを用いている光学系であれば、上述したタイプに限定されることない。

【0115】以上の様に、非球面を用いることによってレンズ枚数を大幅に削減し、かつ高い開口数を有する光学系が達成できるとともに、その非球面の加工面の裏面を平面とすることで加工・調整も容易な非球面投影光学系を得ることができる。

【0116】以下に、上記の数値実施形態の構成諸元を示す。数値実施形態において、 $r_i$ は物体側より順に第*i*番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$ は物体側より順に第*i*番目のレンズ厚及び空気間隔、 $N_i$ は物体側より順に第*i*番目のレンズの硝子の屈折率を示すものとする。

尚、露光波長193nmに対する石英の屈折率は1.5602とする。

【0117】また、非球面の形状は次式、

【0118】

【数1】

【0120】又前述の各条件式と数値実施例との関係を表1～表7に示す。

【0121】

【外1】

## (数値実施例1)

i	ri	di	ni	Obj-distance= 70.000
1	0.000	11.000	1.56020	
2	241.465	56.884		
3	267.828	25.258	1.56020	
4	-2898.927	22.315		
5	355.072	19.305	1.56020	
6	0.000	1.048		
7	154.997	29.861	1.56020	
8	982.874	18.031		
9	166.757	21.426	1.56020	
10	237.897	43.147		
11	-132.031	11.000	1.56020	
12	0.000	13.161		
13	-127.448	11.000	1.56020	
14	112.752	30.387		
15	-130.280	14.551	1.56020	
16	0.000	16.100		
17	2738.653	17.304	1.56020	
18	-355.680	57.482		
19	628.158	35.237	1.56020	
20	-279.154	5.005		
21	767.583	21.509	1.56020	
22	-814.760	78.543		
23	0.0(stop)	129.473		
24	401.982	22.130	1.56020	
25	0.000	1.647		
26	231.031	37.985	1.56020	
27	2335.067	2.206		
28	216.165	29.443	1.56020	
29	616.097	3.999		
30	142.250	41.935	1.56020	
31	441.153	12.344		
32	0.000	13.525	1.56020	
33	174.747	6.283		
34	369.487	33.703	1.56020	
35	0.000			

## aspherical surfaces

I	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	-1.169489e-007	5.521468e-012	-1.313218e-016	1.023595e-020
5	0.000000e+000	7.740697e-009	1.228082e-012	1.550282e-017	-6.688531e-022
11	0.000000e+000	-6.762574e-008	1.295253e-011	1.273198e-015	-1.120656e-019
15	0.000000e+000	-5.704610e-008	-1.735874e-012	3.590224e-016	-3.791498e-020
20	0.000000e+000	1.749556e-008	2.878338e-013	-1.238659e-019	-1.863774e-022
24	0.000000e+000	-1.202552e-008	-1.845670e-013	7.926570e-018	-1.467677e-022
28	0.000000e+000	4.480818e-009	1.806535e-013	-1.700337e-017	-1.029084e-022
33	0.000000e+000	1.562171e-009	2.601211e-012	-8.164580e-016	-7.681084e-020
34	0.000000e+000	8.993015e-009	1.089272e-011	-1.330430e-015	-7.492539e-020

I	E	F	G
2	-1.793948e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
5	-4.046791e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
11	1.475317e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
15	4.268750e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
20	1.950744e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
24	1.190929e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
28	-1.669734e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
33	-3.567106e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
34	-1.577428e-023	0.000000e+000	0.000000e+000

【0122】

【外2】

(数値実施例 2) 物体面～第 1 面距離: 78.337mm

i	ri	di	ni
1	0.000	11.000	1.56020
2	291.960	13.576	
3	-2468.391	18.430	1.56020
4	-212.937	2.174	
5	632.275	36.661	1.56020
6	-195.510	1.716	
7	209.897	30.803	1.56020
8	0.000	10.964	
9	179.370	11.379	1.56020
10	85.411	36.359	
11	0.000	9.310	1.56020
12	137.526	70.188	
13	-94.815	9.310	1.56020
14	354.874	22.479	
15	-94.483	10.344	1.56020
16	-819.857	20.429	
17	-1887.588	33.299	1.56020
18	-217.001	1.000	
19	0.000	40.000	1.56020
20	-234.059	1.000	
21	477.242	37.938	1.56020
22	-515.192	86.709	
23	0.0(stop)	120.402	
24	298.270	48.200	1.56020
25	0.000	11.574	
26	275.687	36.978	1.56020
27	0.000	10.799	
28	203.097	32.137	1.56020
29	633.727	2.293	
30	186.253	28.417	1.56020
31	1013.907	5.612	
32	1325.581	18.749	1.56020
33	107.474	22.379	
34	180.126	18.257	1.56020
35	0.000		

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	3.736230e-008	1.038222e-012	-3.965564e-016	-5.505777e-021
7	0.000000e+000	4.848022e-009	4.158133e-012	1.071518e-016	-9.266750e-021
12	0.000000e+000	-1.028517e-007	1.142371e-011	1.548505e-015	3.030974e-019
20	0.000000e+000	2.096099e-008	3.467669e-013	2.256954e-018	-4.666722e-023
24	0.000000e+000	-3.621224e-009	-5.579396e-013	7.419379e-018	-3.142413e-022
26	0.000000e+000	-2.374654e-008	3.141420e-013	-2.583907e-018	8.955907e-023
34	0.000000e+000	6.812835e-008	5.847001e-012	-1.362069e-017	8.105142e-020

i	E	F	G
2	3.907528e-024	-2.229641e-028	0.000000e+000
7	7.709354e-025	-4.176635e-029	0.000000e+000
12	-8.699782e-024	1.590852e-026	0.000000e+000
20	-1.190790e-027	8.053524e-032	0.000000e+000
24	7.943315e-027	-9.396981e-032	0.000000e+000
26	-8.404456e-027	7.322317e-032	0.000000e+000
34	-1.014027e-023	8.198208e-028	0.000000e+000

【0123】

【外 3】

(数値実施例3) 物体面～第1面距離: 98.214mm

i	ri	di	ni
1	0.000	35.283	1.56020
2	-202.253	1.000	
3	196.472	21.687	1.56020
4	0.000	1.000	
5	163.840	20.913	1.56020
6	108.642	18.007	
7	0.000	11.000	1.56020
8	142.097	21.663	
9	-196.412	11.000	1.56020
10	211.337	68.733	
11	0.000	26.757	1.56020
12	-223.854	1.000	
13	693.208	33.377	1.56020
14	-258.524	1.000	
15	348.600	29.343	1.56020
16	-488.748	69.416	
17	0.000	11.000	1.56020
18	177.628	22.570	
19	-171.815	11.000	1.56020
20	148.088	96.964	
21	0.0(stop)	31.152	
22	0.000	25.233	1.56020
23	-283.913	8.408	
24	274.841	38.513	1.56020
25	-1832.307	100.711	
26	239.348	33.950	1.56020
27	0.000	1.033	
28	169.199	32.449	1.56020
29	540.334	1.000	
30	120.352	44.300	1.56020
31	86.480	3.768	
32	93.410	41.306	1.56020
33	100.526		

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
3	0.000000e+000	3.650790e-008	-9.230325e-013	5.957551e-017	-2.805723e-020
8	0.000000e+000	1.769184e-007	1.795818e-012	-3.786678e-016	-3.120635e-019
12	0.000000e+000	-1.662398e-009	1.085256e-013	-3.042158e-018	7.706400e-022
18	0.000000e+000	-1.731542e-008	-4.620024e-012	-2.804976e-016	-2.146101e-020
23	0.000000e+000	9.562980e-009	1.835166e-013	4.699629e-018	1.232888e-022
26	0.000000e+000	-5.523449e-009	-4.344737e-013	-4.397292e-018	-1.896027e-022
33	0.000000e+000	2.159918e-007	1.616246e-011	8.393394e-016	-2.980107e-018

i	E	F	G
3	4.592119e-024	-2.738347e-028	0.000000e+000
8	7.179478e-023	-7.666732e-027	0.000000e+000
12	-3.545587e-026	3.177747e-030	0.000000e+000
18	-1.843132e-025	-3.621190e-028	0.000000e+000
23	-1.671858e-027	1.331041e-031	0.000000e+000
26	1.392972e-027	-2.305348e-031	0.000000e+000
33	7.162464e-022	-2.675240e-025	0.000000e+000

【0124】

【外4】

(数値実施例4) 物体面～第1面距離: 98.335mm

i	ri	di	ni
1	258.389	25.051	1.56020
2	-327.861	1.000	
3	243.444	15.030	1.56020
4	121.667	5.872	
5	156.030	27.875	1.56020
6	-367.265	25.609	
7	793.456	11.992	1.56020
8	89.933	18.007	
9	0.000	11.000	1.56020
10	120.546	26.661	
11	-126.980	11.000	1.56020
12	307.162	58.440	
13	0.000	30.020	1.56020
14	-261.428	1.000	
15	2554.137	33.056	1.56020
16	-292.110	1.000	
17	645.624	46.291	1.56020
18	-416.972	1.000	
19	247.116	40.239	1.56020
20	-1197.155	64.916	
21	-386.847	17.501	1.56020
22	189.909	47.424	
23	-194.762	11.000	1.56020
24	219.967	30.054	
25	0.0(stop)	37.914	
26	0.000	42.305	1.56020
27	-241.071	10.245	
28	667.942	33.531	1.56020
29	-478.335	7.234	
30	321.575	29.811	1.56020
31	0.000	1.000	
32	167.894	39.660	1.56020
33	616.843	1.000	
34	142.681	36.269	1.56020
35	408.323	11.006	
36	1053.323	11.000	1.56020
37	90.505	14.026	
38	123.082	23.218	1.56020
39	0.000		

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	2.839128e-008	-7.216111e-013	1.446883e-017	8.209235e-021
10	0.000000e+000	-8.396863e-008	-3.967152e-012	-4.351418e-016	-6.730147e-019
14	0.000000e+000	1.580736e-009	6.621529e-014	4.355724e-018	5.471514e-022
23	0.000000e+000	-1.724710e-008	3.359733e-012	1.509694e-017	-1.522094e-021
27	0.000000e+000	4.103452e-009	1.774471e-013	-4.246034e-018	3.532934e-022
30	0.000000e+000	-8.160064e-010	-4.350079e-014	-4.600384e-018	1.998185e-022
38	0.000000e+000	1.998305e-008	-3.081108e-012	-3.679832e-016	5.352264e-020

i	E	F	G
2	-1.716217e-024	1.017359e-028	0.000000e+000
10	1.697893e-022	-2.867905e-026	0.000000e+000
14	-1.007986e-026	1.093143e-030	0.000000e+000
23	-3.907735e-025	2.082403e-029	0.000000e+000
27	-1.918140e-026	4.509081e-031	0.000000e+000
30	-6.954852e-027	1.388001e-031	0.000000e+000
38	-9.941959e-024	8.511387e-028	0.000000e+000

【0125】

【外5】

(数値実施例5) 物体面～第1面距離 : 105.794mm

i	ri	di	ni
1	0.000	17.882	1.56020
2	-250.133	1.000	
3	235.685	22.005	1.56020
4	0.000	68.311	
5	0.000	10.923	1.56020
6	120.000	27.407	
7	-111.992	10.923	1.56020
8	191.182	70.035	
9	0.000	35.220	1.56020
10	-224.080	1.000	
11	1399.483	39.072	1.56020
12	-280.000	1.000	
13	516.986	37.250	1.56020
14	-450.000	1.000	
15	147.904	33.785	1.56020
16	360.855	41.649	
17	0.000	10.923	1.56020
18	105.311	37.855	
19	-169.528	10.923	1.56020
20	149.323	65.245	
21	0.0(stop)	23.307	
22	0.000	29.615	1.56020
23	-238.014	1.000	
24	313.704	47.368	1.56020
25	-499.327	65.792	
26	288.517	27.030	1.56020
27	0.000	4.645	
28	267.902	38.643	1.56020
29	-681.522	1.000	
30	128.019	33.307	1.56020
31	155.605		

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
3	0.000000e+000	2.578734e-008	4.745639e-013	6.500680e-017	-1.678018e-020
6	0.000000e+000	-9.012676e-009	-4.358875e-012	-5.577570e-017	-3.179812e-019
10	0.000000e+000	-5.919258e-009	2.008735e-013	-6.096359e-018	1.940507e-023
18	0.000000e+000	2.351920e-008	-4.671977e-012	-4.176338e-016	2.375526e-020
23	0.000000e+000	1.493638e-008	3.570290e-014	9.485448e-018	-1.321261e-022
26	0.000000e+000	-9.318603e-009	-1.123034e-012	1.185523e-017	-8.210662e-022
i	E	F	G		
3	4.279562e-024	-5.176010e-028	2.484636e-032		
6	1.580398e-022	-3.918078e-026	3.086655e-030		
10	1.047034e-026	-7.575362e-031	4.928976e-035		
18	-2.516616e-023	3.803074e-027	-3.735821e-031		
23	1.677141e-026	-8.093104e-031	-2.980126e-036		
26	3.624204e-026	-1.398160e-030	1.728304e-035		

【0126】

【外6】

(数值实施例6) 物体面~第1面距離: 64.4mm

i	ri	di	ni
1	0.000	21.483	1.56020
2	-223.520	0.700	
3	324.053	19.299	1.66020
4	-353.700	42.878	
5	-194.376	11.000	1.56020
6	169.712	9.737	
7	0.000	11.000	1.56020
8	176.122	49.836	
9	0.000	22.771	1.56020
10	-185.168	0.700	
11	423.634	21.637	1.56020
12	-244.092	34.286	
13	-219.694	11.000	1.56020
14	180.011	35.532	
15	-101.095	11.000	1.56020
16	0.000	36.544	
17	0.000	41.224	1.56020
18	-165.000	0.700	
19	613.013	37.099	1.56020
20	-314.522	0.700	
21	155.889	46.421	1.56020
22	-16193.780	37.763	
23	-545.453	11.000	1.56020
24	123.496	47.345	
25	-107.334	11.000	1.56020
26	0.000	0.700	
27	0.0(stop)	22.257	
28	0.000	39.601	1.56020
29	-369.766	32.400	
30	0.000	31.385	1.56020
31	-260.069	3.099	
32	320.064	35.813	1.56020
33	-1109.205	0.700	
34	180.000	44.852	1.56020
35	0.000	0.700	
36	118.000	45.269	1.56020
37	243.132	13.160	
38	-1170.643	16.269	1.56020
39	83.151	5.965	
40	113.618	41.305	1.56020
41	0.000		

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	-2.461170e-008	-1.254678e-012	1.741418e-017	-3.942618e-021
8	0.000000e+000	1.330433e-008	3.996524e-012	-6.425340e-016	8.539215e-020
10	0.000000e+000	-7.314349e-008	-3.668407e-013	-6.551240e-017	-5.632962e-021
15	0.000000e+000	-8.288231e-008	4.470040e-012	9.953928e-016	1.175441e-019
18	0.000000e+000	-3.010817e-009	7.230562e-013	1.976312e-017	3.752192e-022
25	0.000000e+000	-2.381635e-008	5.863091e-013	1.887350e-017	-6.092378e-021
31	0.000000e+000	1.189738e-009	2.579270e-013	-9.540845e-019	1.898098e-022
40	0.000000e+000	-5.338672e-008	2.479306e-011	2.425502e-015	-1.556929e-019

i	E	F	G
2	2.970299e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
8	-1.018743e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
10	-1.001277e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
15	4.568658e-025	0.000000e+000	0.000000e+000
18	-2.789718e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
25	2.398328e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
31	-4.477469e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
40	7.470691e-023	0.000000e+000	0.000000e+000

【0127】

【外7】



(数值实施例7) 物体面~第1面距離: 59.534mm

i	ri	di	ni
1	0.000	16.600	1.56020
2	-202.380	0.800	
3	280.147	18.709	1.56020
4	-445.924	22.856	
5	0.000	18.941	1.56020
6	107.558	15.137	
7	0.000	11.000	1.56020
8	106.669	39.484	
9	0.000	22.061	1.56020
10	-180.483	0.800	
11	187.380	24.573	1.56020
12	-623.254	10.000	
13	140.566	23.964	1.56020
14	107.526	29.179	
15	-151.972	11.000	1.56020
16	171.516	30.143	
17	-112.343	11.000	1.56020
18	0.000	30.281	
19	-435.825	46.381	1.56020
20	-127.000	0.800	
21	325.622	46.741	1.56020
22	-410.690	0.800	
23	187.578	45.209	1.56020
24	0.000	46.773	
25	-482.595	11.000	1.56020
26	157.836	41.196	
27	-175.762	11.000	1.56020
28	253.867	15.534	
29	0.0(stop)	31.669	
30	0.000	40.310	1.56020
31	-213.855	1.457	
32	794.896	33.225	1.56020
33	-385.054	0.800	
34	308.035	38.589	1.56020
35	-847.571	0.800	
36	145.851	47.000	1.56020
37	284.015	70.097	
38	232.327	44.283	1.56020
39	0.000		

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	3.441391e-008	-2.616189e-012	9.175226e-017	-2.861419e-020
6	0.000000e+000	-7.554035e-008	-8.113440e-012	4.320580e-015	6.099900e-019
8	0.000000e+000	-1.174998e-007	1.010874e-011	-5.601546e-015	-5.325149e-019
10	0.000000e+000	-7.107743e-008	-5.995307e-012	-3.259545e-016	3.029660e-021
17	0.000000e+000	-6.901972e-008	-6.690174e-012	-3.236268e-016	7.966691e-020
23	0.000000e+000	3.462617e-010	2.376572e-013	1.798095e-018	4.781755e-022
31	0.000000e+000	1.055515e-009	-3.651336e-014	-1.317019e-018	7.398814e-023
38	0.000000e+000	7.064793e-009	-9.877786e-012	-4.240566e-017	-3.792715e-020

i	E	F	G
2	8.104470e-024	-7.296145e-028	0.000000e+000
6	-1.472017e-022	2.367379e-026	0.000000e+000
8	1.095341e-022	-7.413466e-027	0.000000e+000
10	-4.964934e-024	2.870385e-028	0.000000e+000
17	-2.373952e-023	5.464713e-027	0.000000e+000
23	-1.877552e-026	1.189180e-030	0.000000e+000
31	-1.025990e-026	6.116071e-031	0.000000e+000
38	-1.452718e-024	1.117639e-027	0.000000e+000

【0128】

【表1】

実施例1

面No.	群No.	$ \Delta \text{ ASPH}/L $	$ hb/h $	hea/hmax
2	1	$2.4e^{-3}$	4.34	0.59
5	1	$1.3e^{-3}$	2.08	0.78
11	2	$1.8e^{-4}$	0.90	0.43
15	2	$4.3e^{-4}$	0.37	0.43
20	3	$2.6e^{-3}$	0.09	0.90
24	4	$2.6e^{-3}$	0.11	1
28	4	$5.0e^{-4}$	0.15	0.90
33	4	$7.4e^{-5}$	0.28	0.49
34	4	$4.8e^{-3}$	0.30	0.49
$ L \times \phi o  = 21.59$				

【0129】

【表2】

実施例2

面No.	群No.	$ \Delta \text{ ASPH}/L $	$ hb/h $	hea/hmax
2	1	$9.7e^{-4}$	3.97	0.54
7	1	$8.8e^{-4}$	2.36	0.56
12	2	$8.7e^{-4}$	0.99	0.36
20	3	$4.1e^{-3}$	0.08	0.85
24	3	$3.7e^{-3}$	0.08	1
26	3	$5.8e^{-3}$	0.11	0.96
34	3	$1.5e^{-3}$	0.28	0.46
$ L \times \phi o  = 32.03$				

【0130】

【表3】

実施例3

面No.	群No.	$ \Delta \text{ ASPH}/L $	$ hb/h $	hea/hmax
3	1	$1.0e^{-3}$	2.63	0.60
8	2	$1.9e^{-3}$	1.53	0.46
12	3	$3.9e^{-5}$	0.67	0.77
18	4	$5.7e^{-4}$	0.33	0.51
23	5	$1.4e^{-3}$	0.05	0.86
26	6	$2.6e^{-4}$	0.17	0.95
33	6	$5.9e^{-4}$	0.48	0.32
$ L \times \phi o  = 22.55$				

【0131】

【表4】

実施例4

面No.	群No.	$ \Delta \text{ ASPH}/L $	$ hb/h $	hea/hmax
2	1	$7.2e^{-4}$	2.96	0.61
10	2	$8.0e^{-4}$	0.98	0.42
14	3	$5.0e^{-4}$	0.40	0.86
23	4	$7.6e^{-5}$	0.07	0.61
27	5	$8.3e^{-4}$	0.07	0.87
30	5	$4.2e^{-4}$	0.10	1
38	5	$6.8e^{-5}$	0.26	0.51
$ L \times \phi o  = 30.58$				

【0132】

【表5】

実施例5

面No.	群No.	$ \Delta \text{ASPH}/L $	$ hb/h $	$hea/h_{\text{max}}$
3	1	$9.8e^{-4}$	2.72	0.59
6	2	$2.6e^{-4}$	1.13	0.44
10	3	$6.5e^{-4}$	0.47	0.88
18	4	$1.8e^{-4}$	0.25	0.54
23	5	$2.4e^{-3}$	0.05	0.86
26	5	$5.2e^{-3}$	0.12	0.94
$ L \times \phi o  = 27.87$				

【0133】

【表6】

実施例6

面No.	群No.	$ \Delta \text{ASPH}/L $	$ hb/h $	$hea/h_{\text{max}}$
2	1	$7.4e^{-4}$	4.35	0.56
8	2	$2.1e^{-4}$	1.49	0.47
10	3	$2.1e^{-3}$	0.87	0.60
15	4	$6.6e^{-4}$	0.42	0.53
18	5	$1.0e^{-3}$	0.26	0.86
25	6	$4.5e^{-4}$	0.02	0.57
31	7	$9.7e^{-4}$	0.11	0.95
40	7	$2.5e^{-4}$	0.34	0.42
$ L \times \phi o  = 34.55$				

【0134】

【表7】

実施例7

面No.	群No.	$ \Delta \text{ASPH}/L $	$ hb/h $	$hea/h_{\text{max}}$
2	1	$5.2e^{-4}$	4.83	0.54
6	2	$4.6e^{-4}$	2.35	0.45
8	2	$1.8e^{-3}$	1.77	0.47
10	3	$2.4e^{-3}$	1.10	0.53
17	4	$1.2e^{-3}$	0.43	0.50
23	5	$1.0e^{-3}$	0.22	0.95
31	7	$7.1e^{-5}$	0.06	0.88
38	7	$3.4e^{-4}$	0.30	0.47
$ L \times \phi o  = 36.28$				

【0135】図16は本発明の投影光学系を用いた半導体デバイスの製造システムの要部概略図である。本実施形態はレチクルやフォトマスクなどに設けた回路パターンをウエハ（感光基板、第2物体）上に焼き付けて半導体デバイスを製造するものである。システムは大まかに投影露光装置、マスクの収納装置、原板の検査装置、コントローラとを有し、これらはクリーンルームに配置されている。

【0136】同図において、1は光源であるエキシマレーザ、2はユニット化された照明光学系であり、これらによって露光位置E・Pにセットされたレチクル（マスク、第1物体）3を上部から所定のNA（開口数）で照明している。909は例えば数値実施例1～7の投影光学系であり、レチクル3上に形成された回路パターン（物体）をシリコン基板などのウエハ7上に投影して焼き付けする。

【0137】900はアライメント系であり、露光動作

に先立ってレチクル3とウエハ7とを位置合わせする。アライメント系900は少なくとも1つのレチクル観察用顕微鏡系を有している。911はウエハステージである。以上の各部材によって投影露光装置を構成している。

【0138】914はマスクの収納装置であり、内部に複数のマスクを収納している。913はマスク状の異物の有無を検出する検査装置である。この検査装置913は選択されたマスクが収納装置914から引き出されて露光位置E・Pにセットされる前にマスク上の異物検査を行っている。

【0139】コントローラ918はシステム全体のシーケンスを制御しており、収納装置914、検査装置913の動作指令、並びに投影露光装置の基本動作であるアライメント・露光・ウエハのステップ送り等のシーケンスを制御している。

【0140】以下、本システムを用いた半導体デバイス

の製造方法の実施形態を説明する。図17は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD等）の製造フローを示す。

【0141】ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0142】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0143】次のステップ5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0144】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0145】図18は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0146】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ちこみ）ではウエハにイオンを打ちこむ。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼き付け露光する。

【0147】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0148】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0149】尚、以上の実施形態の投影露光装置はレチクル3上の回路パターンを1度でウエハ上に露光する投影露光装置であったが、これに代えてレーザー光源からの光を照明光学系を介してレチクル3の一部分に照射し、該レチクル3上の回路パターンを投影光学系でウエハ7上にレチクル3とウエハ7の双方を投影光学系の光軸と垂直方向に該投影光学系に対応させて走査して投影・露光する所謂走査型の投影露光装置としても良い。

【0150】

【発明の効果】本発明によれば、構成レンズ枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保しつつ、非球面レ

ンズの加工、調整も容易な投影光学系及びそれを用いた投影露光装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影光学系の数値実施例1のレンズ断面図

【図2】本発明の投影光学系の数値実施例1の諸収差図

【図3】本発明の投影光学系の数値実施例2のレンズ断面図

【図4】本発明の投影光学系の数値実施例2の諸収差図

【図5】本発明の投影光学系の数値実施例3のレンズ断面図

【図6】本発明の投影光学系の数値実施例3の諸収差図

【図7】本発明の投影光学系の数値実施例4のレンズ断面図

【図8】本発明の投影光学系の数値実施例4の諸収差図

【図9】本発明の投影光学系の数値実施例5のレンズ断面図

【図10】本発明の投影光学系の数値実施例5の諸収差図

【図11】本発明の投影光学系の数値実施例6のレンズ断面図

【図12】本発明の投影光学系の数値実施例6の諸収差図

【図13】本発明の投影光学系の数値実施例7のレンズ断面図

【図14】本発明の投影光学系の数値実施例7の諸収差図

【図15】非球面の機械加工による加工方法を示す模式図

【図16】本発明の半導体デバイスの製造システムの要部ブロック図

【図17】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート

【図18】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート

【符号の説明】

Li 第i群

IP 像面

SP 絞り

M メリディオナル像面

S サジタル像面

Y 像高

1 エキシマレーザ

2 照明光学系

3 レチクル（物体）

7 ウエハ

909 投影光学系

900 アライメント光学系

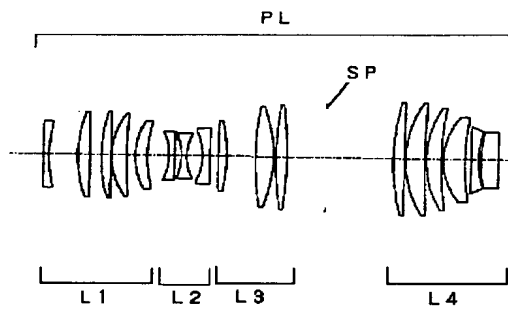
911 ウエハステージ

918 コントローラ

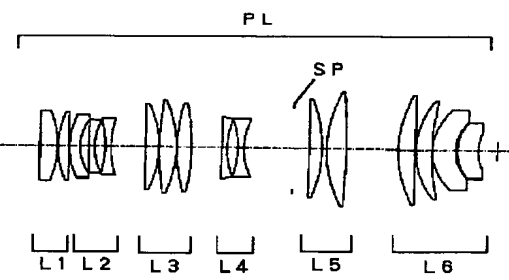
## 914 収納装置

## 913 検査装置

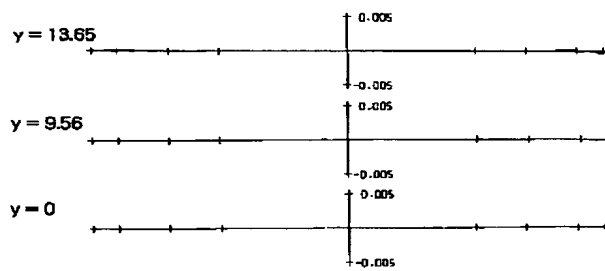
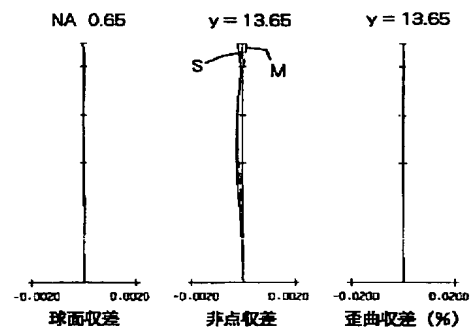
【図1】



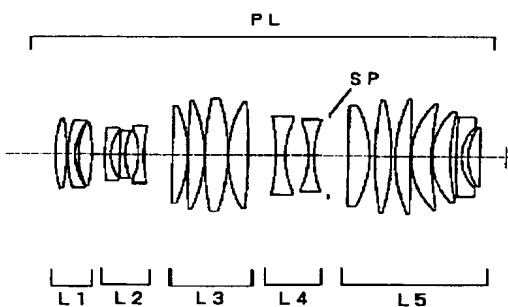
【図5】



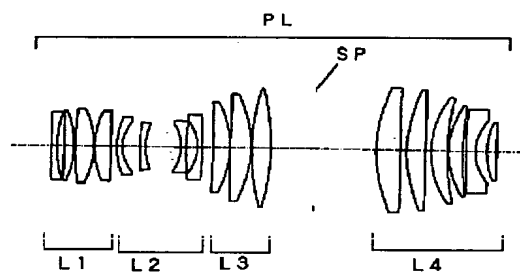
【図2】



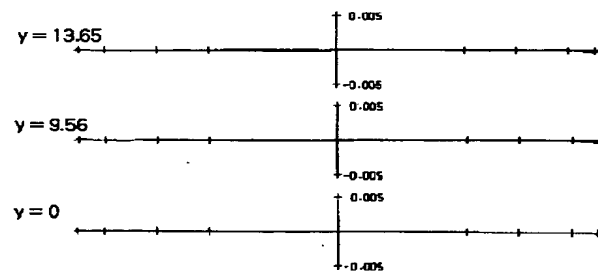
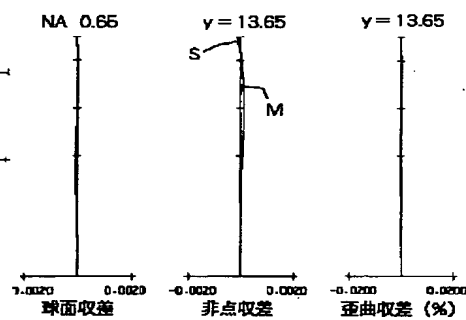
【図7】



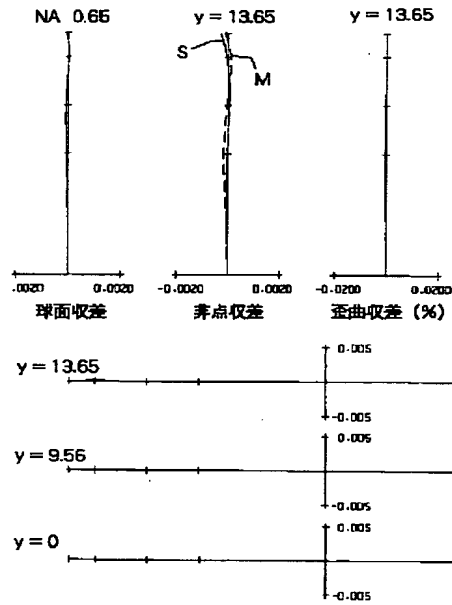
【図3】



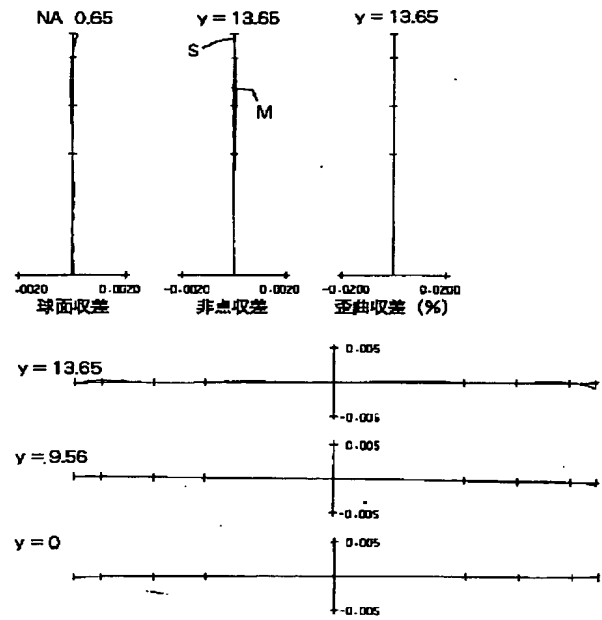
【図4】



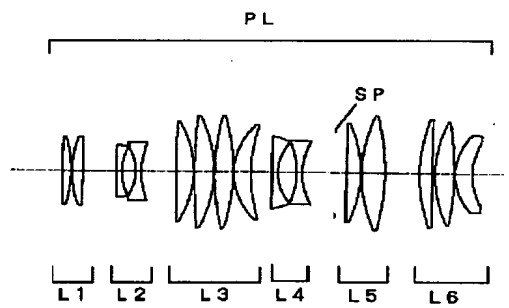
【図6】



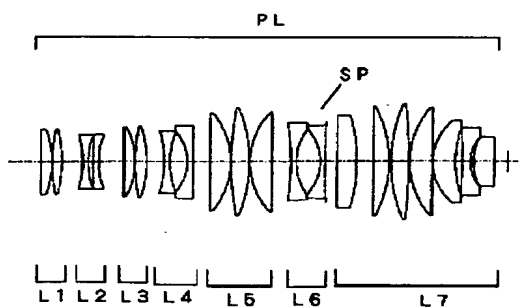
【図8】



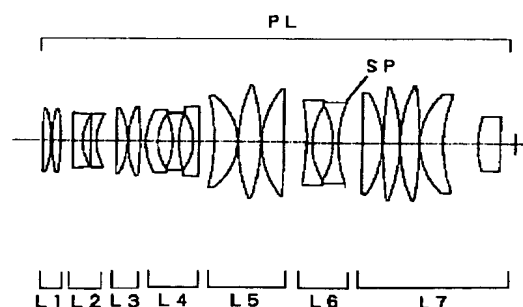
【図9】



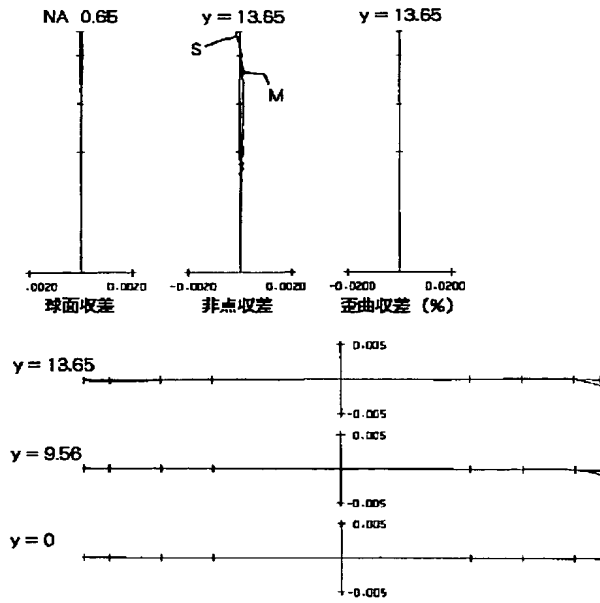
【図11】



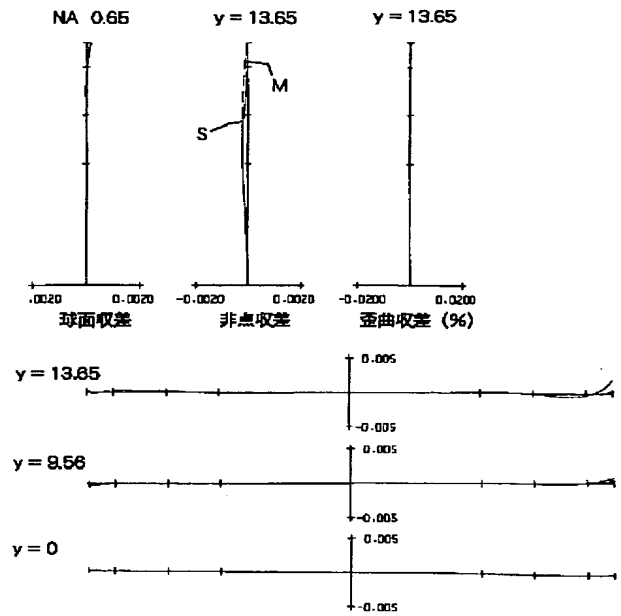
【図13】



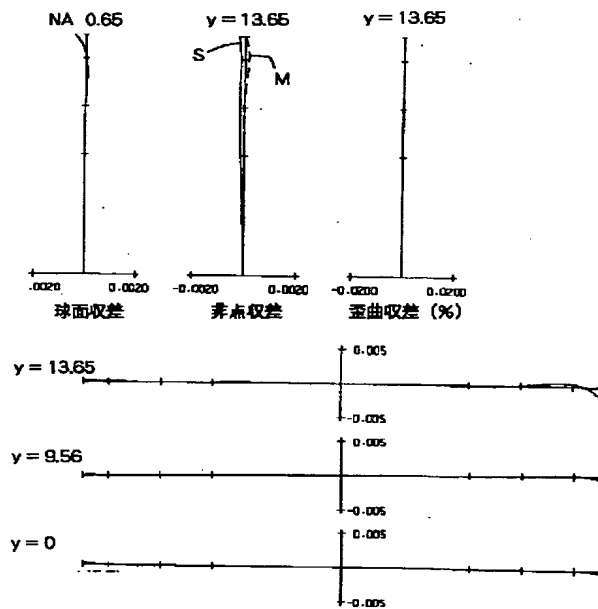
【図10】



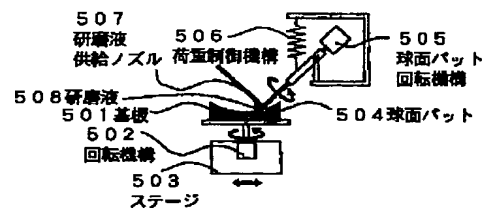
【図12】



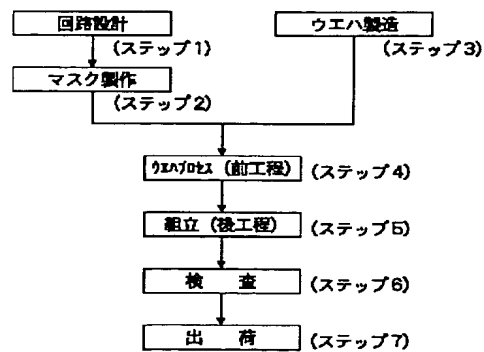
【図14】



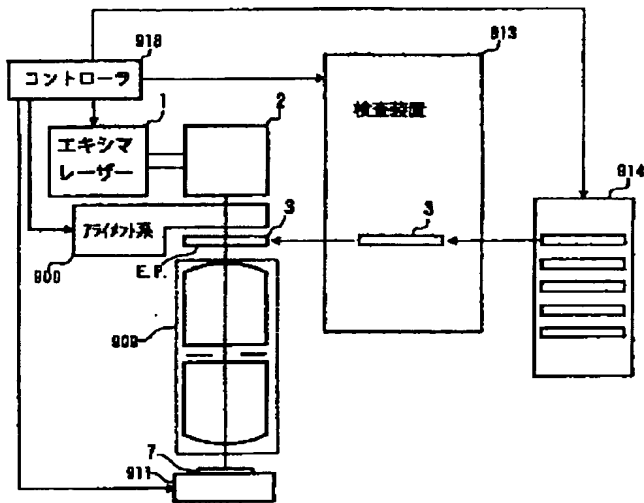
【図15】



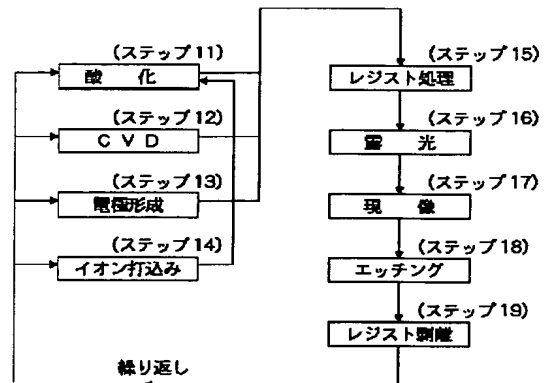
【図17】



【図16】



【図18】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年6月12日(2000.6.12)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】 第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は一方の面が非球面で、他方の面が平面の非球面レンズを複数有していることを特徴とする投影光学系。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の投影光学系は、第1の物体の像を第2の物体上に投影する投影光学系において、該投影光学系は少なくとも1つの非球面レンズを有し、該非球面レンズは、一方の面が非球面で、他方の面が平面であることを特徴としている。

フロントページの続き

(72)発明者 石井 弘之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内



Fターム(参考) 2H087 KA21 LA01 NA02 NA04 PA15  
PA17 PB15 PB16 PB17 PB19  
PB20 QA01 QA02 QA05 QA06  
QA13 QA14 QA18 QA21 QA22  
QA25 QA26 QA32 QA33 QA41  
QA42 QA45 RA05 RA12 RA13  
RA32 UA03 UA04  
5F046 BA04 CA04 CA08 CB12 CB25